

ОБ ОЦЕНКЕ ТЕМПЕРАТУР РОЛИКОВ РОЛЬГАНГОВ БЛЮМИНГОВ, КРУПНОСОРТНЫХ И ЗАГотовОЧНЫХ СТАНОВ

Рольганги являются одним из основных элементов механооборудования прокатных станов, масса их достигает 20–30 % всей массы оборудования стана, а эксплуатационная надежность существенно влияет на его работу в целом. В литературе основное внимание уделяется силовым воздействиям на рольганги, и в гораздо меньшей степени – тепловым. Между тем значительный разогрев отдельных частей рольгангов может привести к уменьшению межремонтного цикла и, как следствие, нарушениям в процессе прокатки. Согласно данным, температура ролика в момент контакта может достигать 500–800 °С [1].

Предлагаемые в статье формулы позволяют с приемлемой для практических целей точностью оценивать температуру ролика рольганга в зависимости от его конструктивных параметров и условий эксплуатации. Формулы получены на основе многовариантных расчетов с последующей их обработкой с помощью процедуры множественного регрессионного и корреляционного анализа [2].

В качестве объекта исследований были выбраны ролики цельнокованого (литого) и полого (из труб) исполнения, устанавливаемые на рольгангах блюмингов, заготовочных и крупносортовых станов горячей прокатки. Основные характеристики роликов, принятые для исследований, представлены в таблице; диапазоны изменения параметров выбраны на основе реальных условий эксплуатации роликов блюминга 1250 и непрерывно-заготовочного стана 900/700/500 обжимного цеха № 3 Челябинского металлургического комбината (ЧМК).

Диапазоны изменения параметров роликов, принятые при расчетах

Параметры	Цельнокованные ролики		Полые ролики
	Способ охлаждения		
	Внутреннее	Наружное	
$t_{отж}, \%$	20–70		40–70
$T_{пр}, ^\circ\text{C}$	800–1050		
$G, \text{л/мин}$	0(10)–100	0(5)–20	0(5)–30
$\psi, \text{град}$	45–90		
$\beta, \text{град}$	0,5–2,0	0,5–1,0	0,5
$\gamma, \text{град}$		45–120	150
$D, \text{мм}$	350–550		350
$d/L_{см}, \text{мм}$	0–100		30–50

*Примечания:

$t_{отж}$ – суммарное время контакта ролика с прокатом за цикл прокатки, отнесенное к общей продолжительности цикла;

$T_{пр}$ – температура проката;

G – расход охлаждающей воды; цифра 0(10) означает, что исследованы ролики без охлаждения и охлаждаемые с расходом от 10 л/мин;

ψ – угловой размер зоны нагрева излучением (зависит от расстояния между роликами и наличия плитного настила на рольганге);

β – угловой размер зоны контакта ролика с прокатом;

γ – угловой размер зоны орошения бочки при наружном охлаждении или минимальный угловой размер контакта с водой внутри полого ролика (определяется высотой шейки ролика);

D – наружный диаметр ролика;

$dL_{см}$ – внутренний диаметр для цельнокованого ролика d (при наличии сверления) или толщина стенки для полого ролика $L_{см}$; указанные параметры в пределах данных таблицы практически не влияют на температуру поверхности и в итоговых формулах не учтены.

Кратко опишем постановку задачи. Для поперечного сечения ролика уравнение нестационарной теплопроводности в полярных координатах имеет вид:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2}, \quad (1)$$

где r, θ – полярные координаты, жестко связанные с роликом;

T – температура;

t – время;

a – коэффициент температуропроводности.

Для решения уравнения (1) была применена пространственная аппроксимация по методу конечных разностей и дискретизация по времени с помощью метода переменных направлений [3]. Задача решалась с прогонкой по окружности на первом полушаге и вдоль радиуса – на втором.

Граничные условия (контакт с горячим металлом, воздухом, водой, излучение от проката) задавались обычным образом. Здесь необходимо уточнить некоторые входящие в эти условия коэффициенты, характеризующие теплообмен ролика с прокатом и охлаждающей водой.

Коэффициент α_m теплоотдачи от горячего металла к ролику. В литературе сведений о его величине практически нет. Он выбран на основе расчетов с различными значениями α_m и сравнения результатов с данными эксперимента [4, 5]. В итоге принято $\alpha_m = 1000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$.

Перейдем к коэффициентам теплообмена при контакте ролика с водой. Для внутреннего охлаждения используем формулу М. А. Михеева [6]:

$$\alpha_{вн} = 0,021 \cdot (\lambda d) \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}_{ж}^{0,43} \cdot (\text{Pr}_{ж}/\text{Pr}_{ст})^{0,25} \cdot \varepsilon_L, \quad (2)$$

где $\alpha_{вн}$ – коэффициент теплообмена при внутреннем охлаждении;

λ – коэффициент теплопроводности;

d – диаметр канала охлаждения;

Re – число Рейнольдса;

$\text{Pr}_{ж}, \text{Pr}_{ст}$ – числа Прандтля для жидкости (“ж”) и стенки канала охлаждения (“ст”);

ε_L – коэффициент, зависящий от длины канала L и диаметра d .

Более сложным оказалось подобрать формулу, аналогичную (2), в случае наружного охлаждения. Поэтому указанный коэффициент (α_n) был определен, подобно коэффициенту контактной теплоотдачи α_m , расчетно-

экспериментальным путем. Для удобства он выражен через расход охлаждающей воды G ; G берется в л/мин, а α_n получаем в $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

$$\alpha_n = 36,67 + 71,5 G - 0,16 G^2. \quad (3)$$

Перейдем к описанию результатов. Для зон роликов, непосредственно контактирующих с прокатом, получены следующие формулы (без учета всплеска температуры в момент непосредственного контакта с металлом):

1. Цельнокованные ролики с внутренним охлаждением:

$$\begin{aligned} \ln T = & -10,395 + 0,670 \ln t_{\text{отн}} + 1,276 \ln T_{\text{пр}} - 0,172 \ln G + \\ & + 0,506 \ln D + 0,136 \ln \beta + 0,310 \ln \psi. \end{aligned} \quad (4)$$

Параметры по степени влияния (по убывающей): $t_{\text{отн}}$, G , $T_{\text{пр}}$, ψ , D , β .

2. Цельнокованные ролики с наружным охлаждением:

$$\begin{aligned} \ln T = & -2,174 + 0,339 \ln t_{\text{отн}} + 1,187 \ln T_{\text{пр}} + 0,133 \ln \beta - \\ & - 0,109 \ln \gamma - 0,464 \ln \alpha_n - 0,094 \ln D + 0,279 \ln \psi. \end{aligned} \quad (5)$$

Параметры по степени влияния: $\alpha_n(G)$, $t_{\text{отн}}$, $T_{\text{пр}}$, ψ , β , γ , D . Заметим, что для α_n можно использовать формулу (3).

3. Неохлаждаемые цельнокованные ролики:

$$\begin{aligned} \ln T = & -9,637 + 0,735 \ln t_{\text{отн}} + 1,526 \ln T_{\text{пр}} + \\ & + 0,126 \ln \beta - 0,094 \ln D + 0,229 \ln \psi. \end{aligned} \quad (6)$$

Параметры по степени влияния: $t_{\text{отн}}$, $T_{\text{пр}}$, β , ψ , D .

4. Полые ролики с внутренним охлаждением:

$$\ln T = -6,578 + 0,563 \ln t_{\text{отн}} + 1,528 \ln T_{\text{пр}} - 0,309 \ln G + 0,217 \ln \psi. \quad (7)$$

Параметры по степени влияния: G , $T_{\text{пр}}$, $t_{\text{отн}}$, ψ .

5. Полые ролики без охлаждения:

$$\ln T = -12,055 + 1,071 \ln t_{\text{отн}} + 1,615 \ln T_{\text{пр}} + 0,430 \ln \psi. \quad (8)$$

Параметры по степени влияния: $T_{\text{пр}}$, $t_{\text{отн}}$, ψ .

Формулы (7) и (8) можно использовать при $D = 300\text{--}400$ мм.

Анализ формул (4)–(8) показывает следующее. На температуру бочки цельнокованого ролика значительно влияет время его контакта с прокатом $t_{\text{отн}}$ и при наличии охлаждения расход охлаждающей воды G . Температура проката $T_{\text{пр}}$ также существенна, но менее, чем $t_{\text{отн}}$ и G (см. формулы (4)–(6)). Причем при внутреннем охлаждении время контакта с прокатом $t_{\text{отн}}$ влияет на температуру цельнокованого ролика сильнее, чем расход охлаждающей воды, а при наружном охлаждении – наоборот (см. формулы (4) и (6)). Отсюда следует вывод, что на температуру ролика наибольшее влияние оказывает изменение интенсивности наружного охлаждения, чем внутреннего.

Для полых роликов, напротив, температура проката $T_{пр}$ является более существенной, чем время контакта $t_{отн}$. А наиболее значительное влияние на температуру полого ролика при наличии охлаждения оказывает расход воды G (см. формулы (7) и (8)).

Значения, полученные по формулам (4)–(8), выборочно сравнивались с данными эксперимента [4, 5]. Результаты представлены на рис. 1 (для цельнокованных роликов) и рис. 2 (для полых). Расчетные границы на рис. 1 и 2 выбраны с учетом реальных эксплуатационных значений параметров $t_{отн}$, $T_{пр}$, ψ , β , γ . Отметим вполне удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных. Что касается заметного выхода экспериментального значения температуры полого ролика за расчетный диапазон при расходе $G = 5$ л/мин (см. рис. 2), заметим, что при замерах ролик был заклинен и, таким образом, нагревался неравномерно по сечению и отличным от остальных (вращающихся) роликов образом.

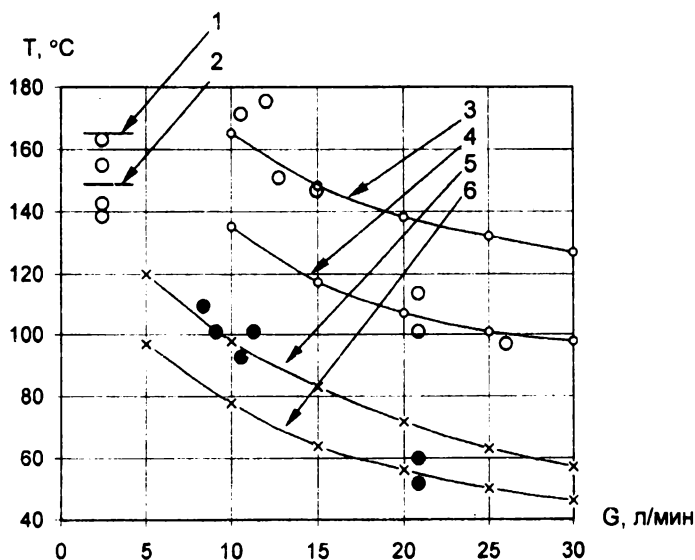


Рис. 1. Сравнение расчетных и экспериментальных данных для цельнокованных роликов: 1, 2 – область расчетных значений для не-охлаждаемых роликов; 3, 4 – для роликов с внутренним охлаждением; 5, 6 – для роликов с наружным охлаждением; O – экспериментальные данные для роликов с внутренним охлаждением; \bullet – экспериментальные данные для роликов с наружным охлаждением.

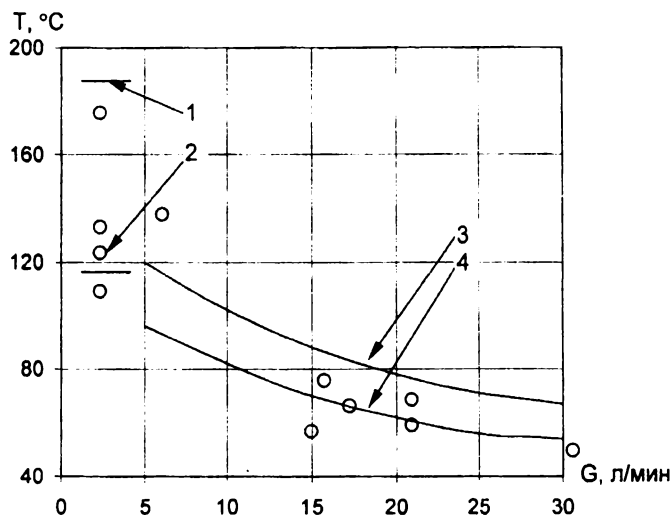


Рис. 2. Сравнение расчетных и экспериментальных данных для полых роликов: 1, 2 – область расчетных значений для неохлаждаемых роликов; 3, 4 – для роликов с внутренним охлаждением; \circ – экспериментальные данные.

Дополнительно на основе данных эксперимента были получены формулы, позволяющие взаимно связать температуру бочки ролика T_θ – T в формулах (4)–(8) – с температурой опорного подшипника $T_{под}$:

$$\ln T_{под} = 0,787 + 0,688 \ln T_\theta, \quad (9)$$

$$\ln T_\theta = -1,144 + 1,453 \ln T_{под}. \quad (10)$$

Формула (9) дает удовлетворительный результат, если контакт ролика с прокатом происходит в “средней” части бочки, на некотором удалении от цапф, иначе расчетное значение $T_{под}$ может оказаться заниженным. Формулу (10) следует применять, задаваясь допустимой температурой подшипника и оценивая максимально возможную при этом температуру бочки ролика. Так, для цельнокованого ролика при температуре подшипника в пределах 60–70 °C температура бочки может достигать 120–150 °C, а иногда и выше.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

1. Получены теоретические зависимости температуры контактирующих с металлом зон бочек роликов рольгангов цехов горячей прокатки от их кон-

структивных и эксплуатационных параметров. Указанные формулы дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными, полученными для роликов обжимного цеха № 3 ЧМК.

2. Определены параметры, наиболее существенно влияющие на температуру ролика в процессе его контакта с прокатом: время контакта и расход охлаждающей воды (при наличии охлаждения), а также температура прокатываемого металла.

3. Даны формулы, взаимно связывающие температуру опорного подшипника с температурой контактной зоны бочки ролика. Они позволяют оценить температуру подшипника с удовлетворительной для практики точностью. В соответствии с указанными формулами закономерен вывод, что ролик можно не охлаждать, если температура бочки при равномерном прогреве по длине не превышает 120–150 °С; если же контакт происходит на достаточно узком участке и не рядом с шейкой, она может достигать 200 °С.

Указанные выводы подтверждены в АО “Уралмаш” для роликов стана 2300 в г. Перник (Болгария). В результате на уровне технического проектирования было принято решение отказаться от охлаждения роликов.

Литература

1. Тылкин М. А., Яловой Н. И., Полухин П. И. Температуры и напряжения в деталях металлургического оборудования. М.: Высш. шк., 1970. 428 с.
2. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. 664 с.
3. Самарский А. А. Введение в численные методы. М.: Наука, 1967. 288 с.
4. Волегов И. Ф., Колмогоров С. В., Поляков А. П. Экспериментальные исследования тепловой нагруженности роликов рольганга блюминга 1250 ЧМК // Конструирование, совершенствование и исследования прокатного оборудования / Уралмашзавод. Свердловск, 1991. С. 62–70.
5. Поляков А. П. Термосиловая нагруженность и совершенствование конструкции элементов оборудования рольгангов цехов горячей прокатки. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь: Изд-во ПГТУ, 1993. 18 с.
6. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. 344 с.